

토양유실공식의 강우침식도 분포에 관한 연구

A Study of Distribution of Rainfall Erosivity in USLE/RUSLE for Estimation of Soil Loss

박 정 환* / 우 효 섭** / 편 종 근*** / 김 광 일****

Park, Jung Hwan / Woo, Hyo Seop / Pyun, Chong Kun / Kim, Kwang Il

Abstract

Climate factors such as rainfall, temperature, wind, humidity, and solar radiant heat affect soil erosion. Among those factors, rainfall influences soil erosion to the most extent. The kinetic energy of rainfall breaks away soil particles and the water flow caused by the rainfall entrains and transport them downstream. In order to estimate soil erosion, therefore, it is important to determine the rainfall erosivity. In this study, the annual average Rainfall Erosivity(R) in Korea, an important factor of the Universal Soil Loss Equation(USLE) and Revised Equation(RUSLE), has been estimated using the nationwide rainfall data from 1973 to 1996. For this estimation, hourly rainfall data at 53 meteorological stations managed by the Meteorological Agency was used. It has been found from this study that the newly computed values for R are slightly larger than the existing ones. It would be because this study is based on the range of rainfall data that is longer in period and denser in the number of gauging stations than what the existing result used. The final result of this study is shown in the form the isoerodent map of Korea.

keywords : universal soil loss equation, rainfall erosivity, rainfall intensity, isoerodent map

요 지

토양침식에 영향을 미치는 기후 인자로는 강우, 기온, 바람, 습도 및 태양열 복사 등이 있다. 이들 인자 중 강우는 토양침식에 직접적인 영향을 미친다. 강우의 운동에너지는 토립자의 이탈을 유발하며 강우로 인해 발생하는 흐름은 이탈 토립자를 연행시킨다. 토양침식을 예측하는데 있어 이러한 강우의 영향을 나타내는 지표의 설정은 중요하다. 본 연구에서는 범용토양유실공식(USLE)과 개정공식(RUSLE)의 강우침식도 R 의 추정을 위해 1973년부터 1996년까지 24년간 전국 53개 기상청 관측소의 강우 자료를 이용하였다. 본 연구에서 새로이 계산한 강우침식도 값은 기존 연구 결과와 비교해 조금 더 크게 나타났다. 본 연구에서 이용한 강우자료는 모든 관측소에 대해 동일 기간이며, 최근 24년간의 자료를 바탕으로 하고 있다. 본 연구의 최종 결과는 우리 나라의 등강우침식도로 나타내었다.

핵심용어 : (개정)범용토양유실공식, 강우침식도, 강우강도, 등강우침식도

- * 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
Researcher, Division of Water Resources and Environmental Engineering, Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyeonggi 411-410, Korea(E mail : jhpark@kict.re.kr)
- ** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구위원
Senior Research Fellow, Division of Water Resources and Environmental Engineering, Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyeonggi 411-410, Korea
- *** 명지대학교 공과대학 토목·환경공학과 교수
Professor, Depart. of Civil and Environmental Engrg., Myongji University, Yongin, Kyunggi, 449-728, Korea
- **** 대한토목학회 회장
President, Korean Society of Civil Engineers, Seoul, 138-130, Korea

1. 서 론

우리 나라의 강수량의 분포형태는 시간적, 공간적으로 상당히 차이가 있으나 연평균 강수량은 1,274 mm로 세계 평균 강수량인 973 mm의 대략 1.3배이다. 계절별로는 연 강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 집중하고 11월부터 익년 4월까지 6개월간은 연 강수량의 1/5에 불과하다(건설교통부, 1996).

집중적인 강우는 경사지의 토양보전에 커다란 문제가 되고 토양침식을 증대시키게 되어, 농경지에서는 양질의 토양이 유실되어지고 건설부지에서는 사면안정을 위협하게 된다. 농경지에 있어 농업을 위한 양질의 토립자의 유실로 토양의 황폐화와 토립자에 포함되어 있는 비료 성분에 의한 하천의 부영양화를 촉진시킬 수 있다는 문제가 있다. 특히 고산지대의 고랭지농업을 하는 지역인 강원도와 지리산 일대에 있어 토양침식은 심각한 문제이다. 건설부지에서는 침식과 퇴적에 의해 사면안정과 유출 토사의 매립 등의 토사 재해의 문제가 있다.

본 연구에서는 토양 유실량 산정을 위해 1960년 초 미국에서 개발된 범용토양유실공식(USLE, Universal Soil Loss Equation)과 그후 1990년대 들어와 개정된 RUSLE (Revised USLE)에 공히 쓰이는 강우침식도(R , Rainfall Erosivity)를 기상청 관할 53개 강우관측소의 강우자료를 이용하여 추정하고 지역별, 계절별 특성을 분석하였다. USLE와 RUSLE에 있어 중요한 인자인 강우침식도 R 의 분포에 관한 연구는 Wischmeier (1959)가 강우의 운동에너지를 강우강도의 단일함수로 나타내어 토양유실량을 추정한 것으로부터 시작한다. 다음 Wischmeier (1962)에 의해 강우와 토양유실량과의 관계를 강우 크기를 통하여 분석하고 미국 록키산맥 동쪽지역 37개 주에 대한 R 의 등침식도(isoerodent maps)로 나타내었다. 그 후 Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 록키산맥 동쪽지역 37개 주에 대한 R 의 등침식도를 보다 상세히 나타내었고, Wischmeier와 Smith(1978)에 의해 미국 전역의 R 등침식도가 확대 적용되었다. 그들은 특히 USLE의 각 인자의 US단위와 SI 단위의 상관관계를 나타내었다.

1980년 대 중반들어 기존의 USLE의 한계를 극복하기 위한 노력이 미 농무부 농업연구국(ARS)에서 Renard 등을 중심으로 이루어졌다(Renard 등, 1991). 그 결과 1992년 말에 개정범용토양유실공식(RUSLE)

1.02 판이 처음 보급되었으며, 현재 1.06판까지 보급되었다. 미 농무부 농업핸드북 703(1998)은 특히 1.04판을 중심으로 RUSLE를 자세히 소개하고 있다. 참고로 미 농무부에서는 비교적 이용이 간단한 USLE 대신 상대적으로 복잡한 RUSLE를 이용할 것을 추천하고 있으나, 이 두 모형이 상당 기간 병용될 것을 감안하여 1996년에 두 모형 공히 '연방 등록(Federal Register)' 하였다.

국내에서의 강우침식도에 대한 연구는 강원도 지방과 일부 지역에서 조사 보고되었고, 신재성 등(1983)에 의하여 강우침식도의 계산을 하였으며, 정필균 등(1983)에 의하여 기상청 산하 51개 관측소의 1960~1980년대에 걸쳐 6~21년의 강우자료분석에 의한 강우침식도(R)의 추정이 행하여졌다. 노재경(1984)은 강우입자의 크기에 따른 가속도 실측치를 이용하여 강우운동에너지를 산정하여 강우침식도를 산정하였다.

본 연구에서는 USLE와 RUSLE 공식의 강우침식도 R 을 추정하고 이 값을 기초로 강우침식도의 전국 분포도를 등침식도로 나타내고 지역별, 계절별 특성을 나타내었다. 이를 위해 전국 53개의 기상청 관할 지점을 대상으로 1973~1996년까지 지점별로 모두 동일한 24년간의 1시간 강우자료를 이용하여 강우강도와 강우에 의한 운동에너지를 계산하고 10분 자료를 이용하여 보정하여 추정하였다.

본 연구는 제한된 자료를 바탕으로 간접적으로 추정된 결과를 이용하였기 때문에 그 결과 역시 한계가 있다. 추후 전 지점, 전 기간에 걸친 30분 강우강도 등의 자료가 수집되면 연평균 강우침식도 R 값의 추정을 보완·확충할 필요가 있다.

2. USLE/RUSLE

2.1 범용토양유실공식과 개정공식

범용토양유실공식(USLE)은 소규모 농경지로부터 발생하는 연간 토사유실량을 산정하기 위하여 제안된 식으로, 이 공식은 경험적 방법에 의해 개발되었지만 공식의 이름에서 알 수 있듯이 다른 지역에 대해 범용적으로 적용할 수 있다. 그 후 이 공식은 Wischmeier 등(1971)에 의해 건설 현장에 확대 적용되었다.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1a)$$

$$A = R \times K \times LS \times VM \quad (1b)$$

여기서, A 는 강우침식도 R 의 해당 기간 중 단위 면적

에서 침식되어 유실되는 토사량($tons/acre$; $metric tons/ha$), R 는 강우침식도($100ft \cdot tons/acre \cdot in/hr$; $10^7 J/ha \cdot mm/hr$), K 는 토양침식성 인자(soil erodivity) ($tons/acre/R$; $metric tons/ha/R$), LS 는 지형특성인자(무차원), C 는 작물형태, 피복상태 등 경작 종류와 형태에 따른 경작 인자(무차원), P 는 등고선 경작 등 토양보전대책 인자(무차원)이다. 도로공사시 토양유실량을 예측하는데 적용하기 위하여 Clyde 등(1980)에 의해 경작특성인자(C)와 토양보전대책인자(P)를 합친 토양침식 조정인자(VM)를 적용하였다. 위 식에서 VM 은 토양침식조정인자(무차원)이다.

1990년대 들어 미국에서 기존 USLE를 대체하기 시작한 RUSLE의 기본 골격은 USLE와 같다. 그러나 RUSLE는 기존의 USLE에 비해 컴퓨터를 이용하여 계산하기 쉽게 자료를 DB화 하였으며, 특히 C , P 값의 계산을 각 단계별 물리 과정에 기초하여 세분화하였다. 구체적으로, RUSLE는 각 인자의 추정에서 다음과 같이 개선·확충되었다(Renard 등, 1994).

- R : 미국 서부 지역의 더 많은 R 값을 제공
- K : 흙의 동결과 융해에 의한 침식 영향 고려
- LS : 쾨(riil) 침식간의 관계를 고려한 4단계 도표 제공
- C : 반 달 간격으로 흙과 식생의 변화 고려
- P : 경작지 보호 대책의 영향을 세분화 하여 고려

참고로, 미국 내부부의 노천광/개척/규정국에서는 위와 같은 RUSLE를 이용하여 광산, 건설현장, 개척지 등에서 토양 유실을 추정하는 가이드라인을 제공하고 있다(USDI, 1998).

한편 표준 단위로 표기된 R 은 종전의 $10^7 J/ha \cdot mm/hr$ 대신에 $MJ/ha/yr \cdot mm/hr$ 를 이용할 수 있다(Foster 등, 1981). 이 경우 R 값은 10배 커지게 된다. 또한 이 경우 R 값에 해당하는 K 값은 1/10로 작아지게 된다. 이 경우 표준 단위의 K 값의 추정은 Wischmeier 등(1971)의 영미단위 K 값 추정도를 이용하여 0.13(=1.3/10)을 곱해 주거나 Foster 등(1981)의 표준단위로 표기된 K 값 추정도를 직접 이용할 수 있다.

2.2 강우침식도

강우에 의한 토양침식도를 정량적으로 표시하기 위하여 1년 동안 각 강우사상별로 강우에너지에 30분 최대 강우강도를 곱하여 그 값들을 모두 합한 값을 R 로 사용하고 있다. 먼저 단위 표면적당 한 호우의 운

동 에너지는

$$E = \left(\frac{916 + 331 \log I}{100} \right) \cdot R_d \quad (2a)$$

$$E = \left(\frac{210 + 89 \log I}{100} \right) \cdot R_d \quad (2b)$$

여기서 식(2a)와 (2b)의 우변의 괄호 안의 항은 주어진 강우 강도 I ($inch/hr$; cm/hr)에서 각각 영미단위로 표기된 단위 면적당 단위강우(1inch)의 운동에너지($ft \cdot tons/acre/inch$)와 SI 단위로 표기된 단위 면적당 단위강우(1cm)의 운동에너지($m \cdot tonnes/ha/cm$)를 나타낸다. R_d 는 측정 강우량($inch$; cm)이다.

한편 식 (2b)에서 강우 강도와 강우량을 mm 로 표시하는 경우 해당 식(Foster 등, 1981)은

$$E = \left(\frac{12.0 + 8.7 \log I}{100} \right) \cdot R_d \quad (2c)$$

위 식에서 우변의 괄호 안은 단위 면적당 1mm 강우의 운동 에너지($m \cdot tonnes/ha/mm$)이며, 따라서 R_d 값으로 mm 를 쓰면 위 식의 단위는 $m \cdot tonnes/ha$ 가 된다.

강우 침식도 R 은

$$R = \sum E \times I_{\max 30} \quad (3)$$

여기서 식 (2a)와 (2b)에 해당하는 R 의 단위는 각각 ($100ft \cdot tons/acre \cdot in/hr$)와 ($10^7 J/ha \cdot mm/hr$)이며, $I_{\max 30}$ 는 30분 최대 강우강도($inch/hr$; cm/hr)이다. 그러나 식 (2c)를 이용하여 R 값을 계산하면 $I_{\max 30}$ 의 단위로 mm/hr 가 되며, R 의 단위는 $MJ/ha \cdot mm/hr$ 이 된다. 본 연구에서는 미국에서 표준 단위에 의한 R 값 표기 추세에 맞추어 이 단위를 이용한다. 이 경우 R 값은 다른 조건이 같은 경우 과거 국내외에서 연구한 결과에 비해 10배 크게 표시된다($10^7 J=10MJ$).

식 (3)의 계산에는 매 강우가 12.7mm 이상 독립된 강우를 대상으로 R 값을 계산하며 강우와 강우 사이에 무강우 기간이 6시간 이내일 때는 1회 강우, 6시간 이상일 때는 2회 강우로 계산한다. 그러나 1회 강우가 12.7mm 이하라도 15분 이내의 강우량이 6.25mm 이상일 경우 1회 강우로 사용한다.

강우의 운동에너지를 구하는 Wischmeier-Smith 공식에서 풍속은 고려되지 않았으며 운동에너지는 강

우강도가 낮을 때(20mm/hr 이하)에는 과소 평가되고 강우강도가 높을 때(76mm/hr 이상)에는 과대 평가된다고 한다(Kinnel, 1981).

3. 강우자료의 검토

3.1 이용자료

강우침식도를 추정하기 위하여 본 연구에서는 식 (2c)와 식(3)을 이용하였다. 이를 위해 1973~1996년 동안의 24년간 전국 기상청 관할 53개 측후소의 60분 강우 자료를 이용하였다. 그런데 1973~1987년의 강우 자료는 6~9월의 자료만이 가용하고, 1988~1996년의 강우자료는 1년 전체의 자료가 가용하다. 또한 10분 강우 자료는 1973년~1987년 간 26개 지점에서만 수치 자료로 가용하다.

3.2 강우사상의 분류

1년간 강우침식도를 추정하기 위해서는 강우사상의 분류가 필요한데 본 연구에서 강우사상의 분류는 Wischmeier에 의해 제안된 분류 방법을 따라 매 강우가 12.7mm 이상 독립된 강우를 대상으로 하였으며 강우와 강우 사이에 무 강우시간이 6시간 이내일 때는 1회 강우로, 6시간 이상일 때는 2회 강우로 계산하였다. 그러나 1회 강우가 12.7mm 이하인 경우라도 15분 이내의 강우량이 6.25mm 이상일 경우에는 1회 강우로 고려한다는 Wischmeier의 기본 분류는 본 연구에서는 60분 강우자료를 이용하였기에 적용에서 제외하였다. 다만 무시한 강우사상의 발생빈도와 강우침식도에 대한 기여도가 거의 없으므로 계산결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.3 자료의 한계

국내 강우 자료의 한계로 본 연구도 다음과 같은 자료 이용의 제한이 있다.

첫째, 최대 30분 강우강도를 추정하기 위한 자료의 부족이며, 둘째 1973~1987년 동안 15년 동안의 여름철 자료 이외의 자료가 없다는 점이다.

이러한 자료의 한계에 따른 문제를 보정하기 위해 첫 번째 문제에서 30분 최대 강우강도 산정 시 10분 자료를 이용하여 지역별로 검정하였다. 검정 방법에 대해서는 다음에 구체적으로 설명한다. 두 번째 문제에서 15년간의 부족한 자료에 대한 보정은 동일 지점의 1988~1996년의 9년간(전 계절 자료 가용)의 자료를

이용하여 보정하였다. 즉, 같은 지점의 어느 연도의 연 강우량과 여름철 강우량의 비율을 이용하여 여름철 강우침식도를 보완하여 연 강우 침식도를 추정하였다. 다만 여름철 강우침식도는 연 75~85% 정도이므로 보정되는 값들의 기여도는 상대적으로 적다.

4. 강우침식도의 추정

4.1 최대 30분 강우강도의 추정

일반적으로 강우강도가 크면 클수록 그 강우가 지속되는 기간은 짧다. 이러한 강우강도-지속기간의 관계는 지속기간별 최대우량을 결정함으로써 얻을 수 있고, 강우강도와 지속기간 간의 관계는 지역에 따라 다르나 대체로 다음 세 가지 유형의 경험공식으로써 표시할 수 있다.

$$\text{Talbot 형 } I = \frac{a}{t+b} \quad (4a)$$

$$\text{Sherman 형 } I = \frac{c}{t^n} \quad (4b)$$

$$\text{Japanese 형 } I = \frac{d}{\sqrt{t+e}} \quad (4c)$$

여기서, I 는 강우강도(mm/hr), t 는 지속기간(min)이다. a, b, c, d, e 와 n 은 지역에 따라 다른 값을 가지는 상수로서, I, t 에 관한 자료를 사용하여 최소자승법에 의해 결정할 수 있다.

본 연구에서는 지점별, 호우별 30분 최대 강우강도를 추정하기 위하여 각 강우 사상별 최대 1, 2, 3시간 강우강도 자료를 이용하여 외삽하였다. 외삽을 위한 적정 공식을 찾기 위해 식 (4)에 나타난 세 가지 유형의 공식 모두를 검토하였다. 26개 지점 1973~1987년 여름철의 10분 단위 강우자료에 의해 구한 30분 최대강우강도 값(실측치)과 각 공식을 이용하여 외삽하여 구한 값(추정치)과의 오차는 지점별로 다음 표 1과 같다.

이 표의 결과에 의하면 Sherman 형이 전 지점에서 비교적 양호한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 1, 2, 3시간 강우 강도 자료를 이용하여 최대 30분 강우강도를 추정하는데 있어 Sherman 형 강우강도식을 이용하였다.

4.2 강우침식도의 추정

강우침식도를 추정하는 식 (2c)를 이용하여 강우의 운동에너지를 계산하여 각 사상별 강우의 운동에너지와

표 1. 지점별, 유형별 강우강도의 오차

(단위 : %)

지점명	절대값의 산술평균		
	Talbot	Sherman	Japanese
속초	19	16	17
춘천	20	17	20
강릉	19	14	16
서울	17	13	17
인천	21	15	18
수원	22	17	20
서산	20	16	17
청주	20	16	18
대전	23	18	20
추풍령	20	15	17
포항	18	14	17
군산	18	15	15
대구	19	15	17
전주	24	17	18
울산	18	12	15
광주	18	15	19
부산	19	14	17
통영	19	14	17
목포	18	15	17
여수	22	16	17
진주	22	17	20
강화	20	18	21
양평	19	16	19
이천	22	18	20
인제	21	16	19
홍천	23	17	21
평균	19.92	15.56	17.92

최대 30분 강우강도의 곱을 모두 합하여 1년간의 강우 침식도를 추정한다.

강우침식도를 추정하기 위하여 사용한 자료는 앞에서 언급하였듯이 53개 지점 24년간의 자료로서 전반부 15년간의 자료는 6~9월간의 자료만 있기 때문에 여름동안의 강우침식도만을 얻을 수 있다. 따라서 24년간의 평균 강우침식도를 얻기 위해서는 여름철의 강우침식도를 1년의 강우침식도로 확대할 필요가 있다.

여름철 강우침식도를 이용하여 1년의 강우침식도를 얻기 위하여 1988~1996년의 9년간의 여름철 강수량과 1년간의 강수량의 비와 9년간의 여름철 강우침식도와 1년간의 강우 침식도의 비를 이용하여 최소자승법

을 이용한 내삽법을 이용하였다.

4.3 강우침식도의 분포

위와 같은 방법으로 전국 53개 지점의 24년 강우자료를 이용하여 추정한 강우침식도는 그림 1과 같다.

5. 결과의 검토

5.1 기존 자료와 비교

본 연구 결과와 정필균 등(1983)의 결과를 직접 수치 비교하기 위해서는 이용된 단위의 치수가 하나 다르기 때문에 본 연구에서 나온 R 값을 1/10으로 줄이거나 정필균 등의 R 값을 10배 증가시켜야 한다. 표 2는 정필균 등의 결과를 10배 증가시켜 비교한 것이다. 이 표에서 알 수 있듯이 전국 평균은 비교적 서로 비슷하지만, 전체적으로 본 연구에 의한 강우침식도 값들이 일반적으로 크게 나타난다. 구체적으로, 내륙지방의 강우침식도는 두 연구 결과가 비교적 같으나, 해안

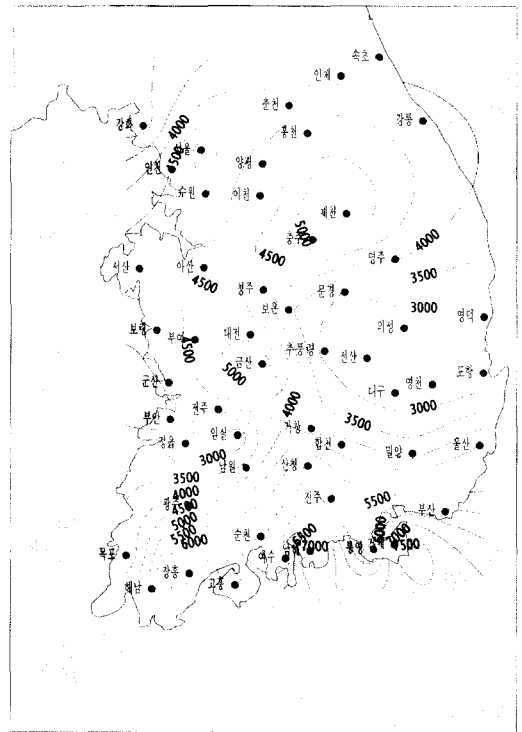


그림 1. 본 연구의 등강우침식도 (R : MJ/ha · mm/hr)

표 2. 전국 53개 지점의 강우침식도($R : MJ/ha \cdot mm/hr$)

번호	지점	본연구		정필균 등(1983)		번호	지점	본연구		정필균 등(1983)	
		R	강수량	R	강수량			R	강수량	R	강수량
1	속초	3830	1308	2550	1312	28	충주	3950	1158	3280	1092
2	춘천	4130	1229	4640	1285	29	보은	3860	1196	3510	1129
3	강릉	4170	1378	2970	1378	30	아산	4920	1199	6170	1226
4	서울	5260	1279	5930	1324	31	보령	5510	1207	4910	1125
5	인천	4510	1094	4060	1156	32	부여	5400	1278	4830	1212
6	수원	4910	1210	5570	1329	33	금산	3810	1219	*	*
7	서산	4980	1180	4890	1193	34	부안	3960	1189	*	*
8	청주	4410	1184	4900	1217	35	임실	3550	1284	4350	1286
9	대전	4750	1282	4900	1365	36	정읍	4340	1240	5520	1350
10	추풍령	2800	1125	2970	1160	37	남원	4110	1262	4640	1258
11	포항	2620	1073	2610	1151	38	순천	4690	1436	5120	1542
12	군산	4050	1151	4290	1176	39	장흥	5980	1414	5540	1496
13	대구	2710	997	2990	1013	40	해남	4880	1277	*	*
14	진주	4280	1242	3640	1252	41	고흥	6400	1430	*	*
15	울산	4500	1233	4550	1336	42	영주	3890	1167	3260	1182
16	광주	4600	1306	5510	1407	43	문경	2820	1148	3240	*
17	부산	6080	1424	6290	1504	44	영덕	2580	1004	*	*
18	통영	5020	1351	5080	1422	45	의성	2650	948	2930	984
19	목포	3510	1067	3230	1106	46	선산	2460	981	2620	977
20	여수	5520	1370	4960	1355	47	영천	2530	983	*	*
21	진주	5230	1439	4240	1494	48	거창	3630	1212	*	*
22	강화	6660	1276	6870	*	49	합천	4040	1206	*	*
23	양평	5240	1274	4270	*	50	밀양	3660	1190	3920	1271
24	이천	4830	1300	4650	*	51	산청	5420	1419	4750	1388
25	인제	2740	1070	2940	1053	52	거제	7970	1685	*	*
26	홍천	4860	1267	4170	*	53	남해	8030	1696	7010	1683
27	제천	4360	1281	3440	1122		평균	4450	1242	4380	1264

주) 강수량(mm)은 그 지점의 연평균 강수량임.

지방의 강우침식도는 본 연구 결과가 다소 큰 값을 나타낸다. 이는 기본적으로 각 분석에 사용된 자료의 기간, 단위 등이 서로 다르기 때문이다.

참고로, 본 연구 결과와 정필균 등의 연구결과에 의한 연평균 강수량과 강우침식도의 상관 관계는 그림 2와 같다. 이 그림과 같이 강수량과 강우침식도는 일정한 상관관계가 있다. 본 연구의 결과는 정필균 등의 결과보다 연평균 강수량과 평균 강우침식도의 관계가 보다 밀접하게 나타난다.

본 연구에 의한 R 값과 미국 록시안맥 이동 지방의 R 값(Foster 등, 1981)을 비교하면, 미국 남부 미시

시피강 하구 지방에서 10,000으로 나타나 우리보다 크지만 대부분의 다른 지방에서는 1,000~7,000 정도로 우리의 범위(2,500~8,000)보다 작다. 특히 미시시피강 이서 지방은 3,000 미만으로 매우 작다. 여기서 미국의 강우 침식도의 분포가 강우량의 분포와 유사하듯이, 우리의 경우도 유사하게 나타난다.

5.2 지역별 특성

표 3에 나타난 것과 같이 대부분의 강우침식도는 여름철인 6~9월 사이의 값이 1년 값의 75~85% 정도를 차지하고 있음을 알 수 있다. 특히 7, 8월의 강우

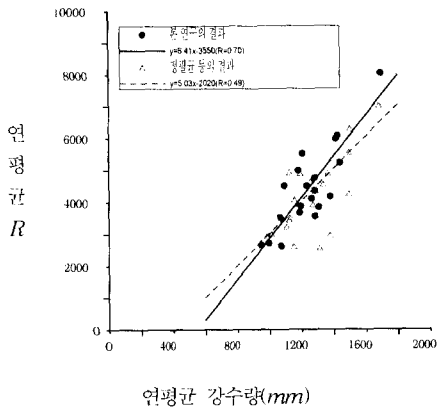


그림 2. 연평균 강수량과 강우침식도의 관계 (39개 지점)

표 3. 5개 지점의 월별 강우침식도(1988~1996)

(단위 : %)

지역 월	강릉	서울	대전	대구	광주
1	8.6	0.2	0.4	1.6	0.7
2	3.2	0.8	2.4	2.5	1.6
3	5.2	3.2	4.0	6.4	3.0
4	0.3	0.8	1.0	2.5	3.5
5	1.9	3.7	2.2	7.1	1.0
6	5.3	7.5	12.0	13.3	11.1
7	14.1	38.0	32.0	32.6	41.1
8	18.1	29.6	35.0	23.3	31.6
9	17.4	10.3	8.2	7.3	4.0
10	13.1	1.5	0.6	1.2	0.5
11	7.5	4.2	1.8	2.1	1.4
12	4.8	0.2	0.3	0.2	0.5

침식도는 50~70%로서 연간 값의 반 이상을 차지한다. 이러한 결과는 강우침식도의 월별 분포가 월 강수량의 변화(65% 정도)보다 더 편중되어 있음을 보여준다. 그 이유는 식 (3)에서 알 수 있듯이 강우침식도는 강수량에 비례하는 운동에너지에 다시 30분 최대강우강도를 곱함으로써 비선형이 되기 때문이다.

5.3 재해영향평가와 강우침식도

1996년에 개정된 자연재해대책법에서는 대규모 개발

사업 시 가속화된 토양 침식으로 하류에 토사 재해의 가능성을 평가하는 것을 의무로 하고 있다. 이러한 재해영향평가에서 개발지역의 토양침식을 추정하는 방법으로 USLE/RUSLE를 이용한다. 이 경우 R 값은 연평균 R 값이 아닌 적절한 재현기간에 해당하는 호우의 R 값이 쓰인다. 이 경우 토양 유실량은 여러 요인에 의해 결정되지만 그 지역의 강우침식도와 지형 등이 주요 인자로 등장한다. 따라서 그림 1과 같이 남해안, 충청남도, 경기북부 지방과 같이 강우침식도가 큰 지역에서 경사가 급한 산지 개발을 하는 경우 특히 토양 침식에 의한 토사 재해에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.

6. 요약 및 결론

소유역에서 토양 유실을 예측하기 위한 USLE와 RUSLE의 강우침식도를 산정하기 위해 전국 53개 지점의 24년(1973~1996년) 1시간 단위 강우자료를 이용하였다. 30분 강우강도를 추정하기 위하여 Sherman 식을 채택하여 외삽법을 이용하였다. 1973~1987년간 여름철 이외의 강우 자료가 없는 부분에 대한 보정은 동일지점의 1988~1996년간 강수량과 강우침식도의 여름과 1년간의 비로써 그 상관관계를 추정하여 보정하였다.

본 연구에 의한 강우침식도를 정필균 등에 의해 1980년대에 추정된 값과 비교하여 보았다. 정필균 등에 의해 추정된 R 값은 대상 기간이 6~21년 등 불규칙하지만, 지속시간 30분 최대강우강도를 강우기록지에서 직접 읽는 노력을 했다(사적 의사 교환, 1998). 본 연구의 대상기간은 동일기간인 1973~1996년간 기간을 채택하여 통계적 일관성이 있다. 그러나 본 연구는 10분 단위가 아닌 1시간 단위의 강우 자료를 이용하였으므로 정확한 R 값의 추정에 한계가 있다. 앞으로 가능하면 전국의 추후소를 대상으로 10분 단위 강우자료를 일정기간(25~30년)에 대해 분석하여 정확한 R 값을 추정할 필요가 있다.

참고 문헌

- 건설교통부 (1996). 수자원장기종합계획(1997~2011), pp. 5~6.
- 건설부 (1992). 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구, 한국건설기술연구원.
- 신재성, 고문환, 임정남 (1983). "토양유실량 예측을 위한 강우인자의 추정". 토양비료학회지, 제16권,

- 제2호, pp. 106~111.
- 정필균, 고문환, 임정남, 윤기대, 최대웅 (1983). “토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석”, 토양비료학회지, 제16권, 2호, pp. 112~118.
- Clyde, C.G., et. al. (1980). *Erosion control during highway construction*. NCHRP Report. 221(April).
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G. and Moldernhauer, W. G., (1981). “Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Units”, *J. of Soil and Water Conservation*, vol. 36.
- Goldman, S.J., Jackson, K. and Bursztynsky, T.A. (1986). *Erosion and sediment control handbook*. McGraw-Hill Book Company.
- Renard, K. G., Foster, G. R. Weesies, G. A. and Porter, J. P. (1991), “RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation”, *J. of Soil and Water Conservation*, vol. 46, no. 1.
- Renard, K. G., Foster, G. R. Yoder, D. C. and McCool, D. K., (1994), “RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future”, *J. of Soil and Water Conservation*, vol. 49, no. 3.
- USDA-Agriculture Handbook 703 (1998), *Predicting Soil Erosion by Water*, US Government Printing Office, Washington, D. C.
- USDI-Office of Surface Mining, Reclamation, and Regulation (1998), *Guidelines for the Use of the RUSLE (version 1.06) on Mined Lands, Construction Sites, and Reclamation Lands*, T. L. Toy and G. R. Foster co-edited, August.
- Wischmeier, W.H. (1959). “A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.” *Proc.*, Soil Science Society of America, Vol. 23, pp. 246~249.
- Wischmeier, W.H. (1962). “Storms and soil conservation.” *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 17, Mar-Apr, pp. 55-59.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1965). “Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains.” *Agriculture Handbook*. No. 282, USDA.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.V. (1971). “A soil erodibility nomograph for farmland and construction site”, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 26, pp. 189~193.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). “Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning.” *Agriculture Handbook*, No. 537, USDA.

(논문번호:00-023/접수:2000.04.12/심사완료:2000.09.06)